

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-134816

(43)Date of publication of application : 10.05.2002

(51)Int.Cl.

H01S 3/05

(21)Application number : 2001-270443

(71)Applicant : UNIV BERN

(22)Date of filing : 06.09.2001

(72)Inventor : SCHMID MARC  
GRAF THOMAS

(30)Priority

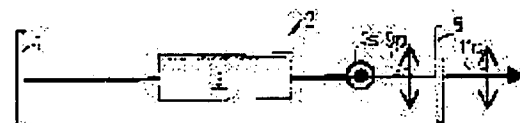
Priority number : 2000 00810810    Priority date : 08.09.2000    Priority country : EP

## (54) LASER RESONATOR FOR GENERATING POLARIZED LASER RADIATION

(57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a simple laser resonator for generating polarized radiation which has a high efficiency and can be easily adjusted and has a superior radiation stability.

**SOLUTION:** An active medium (19) has a double refraction power by thermal induction. A radiation field (23s, 25p) which oscillates in the laser resonator (15) is not polarization-selective, and only a radiation field (11p, 27p, 46p, 49p) in a desired polarized state (p) is partially separated from the radiation field (23s, 25p). A radiation separator (20) partially separates the only specified polarization (27p) out of the radiation field (23s, 25p) which can oscillate in the resonator (15) by a predetermined separation rate (Tp). All the radiation fields having another polarization and a residual part of the partially separable radiation field are left over in the resonator (15) completely reflected to an allowable limit, and hence the laser resonator (15) uses a resonator mirror (17) having a high reflection factor, radiation separator (20), and active medium (19) having a double refraction power by thermal induction.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

## \* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

CLAIMS

---

## [Claim(s)]

[Claim 1] It is an approach for generating the laser output radiation (11p;27p;46p, 49p) which polarizes by the laser cavity (2, 15, 30; 53) which an active medium (3; 19; 33; 52) presents the birefringence by which heat induction is carried out. Polarization selection is made only by the radiation field (7s, 9p;23s, 25p;47s, 45p) which vibrates in a laser cavity (2, 15, 30; 53) passing along at least one of two resonator mirrors. The approach characterized by separating selectively only the radiation field (11p;27p;46p;49p) which has a desirable polarization condition (p) from the radiation field (7s, 9p;23p, 25p;47s, 45p).

[Claim 2] The approach according to claim 1 characterized by making energy transfer between the radiation fields (7s, 9p;23s, 25p;47s, 45p) which vibrate in a resonator (2, 15, 30; 53).

[Claim 3] The approach according to claim 2 characterized by performing energy transfer by phase delay in the regular polarization direction.

[Claim 4] The approach according to claim 1 characterized by only for the radiation field by which depolarization is not carried out returning and being combined to a certain degree of separation among the radiation fields which can vibrate within a resonator by the birefringence by which heat induction of the active medium is carried out.

[Claim 5] Claim 1 - In an approach according to claim 3 The resonator mirror of a high echo (1; 17; 31; 57), It is a laser cavity (2, 15, 30; 53) for generating the laser output radiation (11p;27p;46p, 49p) which polarizes with a radiation decollator (50 5;20;37; 55) and the active medium (3; 19; 33; 52) which presents a heat birefringence. A radiation decollator (50 5;20;37; 55) In a resonator (2, 15, 30; 53) only a regular polarization condition thru/or regular polarization distribution (11p;27p;46p, 49p) among the radiation fields (7s, 9p;23s, 25p;47s, 45p) which can vibrate The radiation field where it is [ in ] selectively disengageable from a resonator (2, 15, 30; 53) at regular degree of separation (Tp), and another polarization was made, The remaining component of the disengageable radiation fields is a laser cavity (2, 15, 30; 53) characterized by being constituted so that it may be thoroughly reflected in a resonator (2, 15, 30; 53) and may remain to a tolerance limit selectively.

[Claim 6] There is at least one optical energy transfer element (54 3; 21, 19; 33, 35; 52, 55) in a resonator (2, 15, 30; 53). This is a laser cavity according to claim 5 characterized by acting on the energy transfer between the radiation fields (7s, 9p;23s, 25p;47s, 45p) in a resonator (2, 15, 30; 53) which polarize variously which cannot be disregarded.

[Claim 7] A radiation decollator (50 5;20;37; 55) presents a separation mirror (5; 20; 37; 50). This mirror penetrates the polarization distribution (p) as which the radiation field of a resonator (2, 15, 30; 53) was specified with regular permeability (Tp). Suitably The laser cavity according to claim 5 or 6 characterized by all the radiation fields (7s, 9p;23s, 25p;47s, 45p) vibrating between [ same / two ] resonator mirrors (2, 15, 30; 53).

[Claim 8] The laser cavity according to claim 6 characterized by for an energy transfer element (3 19; 33; 52) presenting a birefringence, and presenting the birefringence by which heat induction is carried out about the radiation field which vibrates in a resonator (2, 15, 30; 53) especially (2, 15, 30; 53).

[Claim 9] The laser cavity according to claim 6 to which an energy transfer element presents phase delayed action about the polarization condition of the radiation field that it can vibrate, in a resonator, and is suitably characterized by to be constituted as  $\lambda/4$  plate (21; 35; 54) thru/or that the optical operation is shown or to be especially constituted as a faraday rotator thru/or showing the optical operation (15 30; 53).

[Claim 10] It is the laser cavity according to claim 9 characterized by having the separation mirror (50) which a radiation decollator penetrates thoroughly suitably with the permeability of a convention of only the nonlinear optical element (55) which performs the increment in a frequency of the radiation field which can vibrate in a resonator (53), and the radiation by which the increment in a frequency was carried out (53).

[Claim 11] According to an approach according to claim 1 or 4, with the active medium (3) which presents the resonator mirror (1) which carries out a high echo, a separation resonator mirror (5), and the birefringence by which heat

induction is carried out It is a laser cavity (2) for generating polarization laser output radiation. At least one of both resonator mirrors (1) reflects only the radiation field with a certain polarization distribution. In case this radiation field passes an active medium (3), depolarization does not carry out. It is the laser cavity which does not reflect all of the radiation field of other polarization conditions, or reflects only few parts inadequate for vibrating, and is characterized by the ability of the radiation field of others of another polarization condition not to vibrate by it at a resonator (2).

---

[Translation done.]

## \* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the laser cavity for generating the laser radiation to which the whereas clause publication of the approach for generating the polarizing laser radiation according to claim 1 and claim 5 thru/or claim 11 polarizes.

[0002]

[Description of the Prior Art] A resonator mirror means the mirror in which the radiation field vibrates between mirrors. Fundamentally, with a high reflecting mirror, a little, each oscillator has the low separation mirror of a reflection factor, and is separated through this mirror for the object with a part of various radiation fields. On these descriptions, it is not considered that the mirror inside the resonator for the turn of radiation or the other objects is a resonator mirror.

[0003] In the approach of this invention indicated thru/or the laser cavity of this invention, a polarization condition thru/or polarization distribution are linearity, and means polarization of the letter of a link. The polarization condition which progresses to a radial or is adjusted, and the polarization condition which progresses by the tangent which may be produced in the case of the laser rod which it is symmetrical with especially a cylinder, and a pumping is carried out, and carries out a birefringence with heat, or is adjusted are also included in this. In addition, the polarization direction which changes to arbitration locally is also included through a radial section.

[0004]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] It has high effectiveness, and adjustment is easy and it is offering the easy laser cavity for generating the polarization radiation with the outstanding radiation stability.

[0005]

[Means for Solving the Problem] The technical problem of this invention is solved by separating selectively only the radiation field (radiation) which has the specified polarization distribution from the radiation field which vibrates in a laser cavity. It dissociates selectively, and also including the component which remains in the resonator, the remaining radiation remains in a resonator and is vibrating. For this reason, the laser cavity which has the resonator mirror, radiation decollator, and active medium which carry out a high echo is used. It is constituted so that only one specified polarization vibrates in a resonator, and especially radiation decollators may be regular degree of separation about the only polarization from the \*\*\*\* radiation field in polarization of arbitration and can be separated from a resonator. The radiation field where another polarization was made, and the radiation field which was separated selectively and remains remain in the resonator, reflecting to a tolerance limit thoroughly.

[0006] Suitably, the radiation field of the whole laser cavity vibrates between two resonator mirrors. Between the radiation fields of a laser cavity, energy transfer is performed suitably. Phase delay can perform such energy transfer in the regular polarization direction. the element which carries out the birefringence of the ability to become an energy transfer element -- it is laser Xtal,  $\lambda/4$  plate, or faraday rotator of a heat birefringence suitably. About another insert, reference is made below.

[0007] The nonlinear optical element in a resonator can also be used for radiation separation. A frequency can be increased with the element. A separation mirror penetrates suitably only the radiation which the frequency increased.

[0008] In the laser cavity which has the solid-state-laser medium of a birefringence which is suitably used by high power laser, and by which heat induction is carried out known until now, in order to compensate such a birefringence by which heat induction is carried out, big efforts were paid. This invention proposes an option to the known laser cavity which has the active medium in which heat induction carries out a birefringence. It is not necessary to compensate the birefringence of heat induction with this invention. A birefringence is used reversely. With some operation gestalten, the activity solid-state medium of the birefringence of heat induction etc. is used as an element for the energy transfer

between the radiation fields which polarized variously [ a resonator ]. Please care about that only the radiation field which has that the radiation field of the whole resonator returns and is reflected and a desirable polarization condition thru/or desirable polarization distribution is separated with regular permeability with a certain operation gestalt.

[0009] The optical resonator with which the birefringence of heat induction of an active medium is compensated by the optical element of a resonator is "optical resonator" 298 pages and of for example, N.Hodgson and H.Weber work or subsequent ones (the Springer publication, 1997), and DE-A. 44 15 It is described by 511.

[0010] In this invention, two or more specified polarization directions are also separable. Suitably, it limits only to one.

[0011] The radiation decollator of this invention has one separation mirror suitably, and this mirror is penetrated with the permeability to which only the laser radiation which has the specified polarization condition thru/or the wavelength specified [ were specified and it was polarization-distributed ] was specified. Such a mirror is Rong-Chung. Tyan, Pang-Chen Sun, Axel Scherer and Yeshayahu It is indicated by 206-212 pages in "Collaboration SPIE" 1782 No. besides "polarization" of the beam splitter based on the anisotropy spectrum refraction property of the multilayer grid of a gestalt birefringence" of Fainman collaboration, optical Letters, 21 volumes, No. 10, May 15, 1996, 761-763 pages, and N.Bel'tyogov, and 1992. In addition, such a mirror is indicated by PCT/EP 00/07540.

[0012] Also being able to use an optical element nonlinear as a radiation decollator, this performs suitably the increment in a frequency of the radiation field which can vibrate in a resonator. The mirror thoroughly penetrated as a separation mirror with the permeability of only one convention in the radiation field which carried out the increment in a frequency is used.

[0013] For the energy transfer between the radiation fields of a laser cavity, as stated previously, the optical element of a birefringence, especially the optical element of a heat induction birefringence are used. That is, by solid state laser, laser Xtal of a heat induction birefringence can become an active medium, for example for energy transfer.

[0014] An energy transfer element can perform phase delay (phase revolution) about the radiation field in a resonator which can be vibrated, suitably, is constituted as  $\lambda/4$  plate, and can show the optical operation. It can also constitute as a faraday rotator.

[0015] As the theory explained below shows, in the laser cavity of this invention, 30% or more per resonator revolution of the resonator radiation field of rate of depolarization is obtained. Generally the birefringence of heat induction makes strong association with high power laser Xtal. Depolarization "sufficient" when depolarization is little pumping output is obtained with additional elements, such as  $\lambda/4$  plate and a faraday rotator.

[0016] However, also from the radiation field in a resonator which can be vibrated, it returns and only the radiation field as for which depolarization is not carried out by the birefringence of heat induction of an active medium can be combined until it becomes a certain degree of separation. In this case, at least one of two resonator mirrors reflects only the radiation field which has a certain polarization distribution. Since the depolarization of them is not carried out in case those fields pass an active medium, the radiation field of another polarization condition is not reflected or it reflects at few rate inadequate for vibrating, the radiation field of others which have another polarization condition in a resonator is unable to vibrate. By such mirror coat, the mirror which carries out a high echo, a separation mirror, or both mirrors can also be attached (however, there is no advantage in this).

[0017] By modification of the laser cavity of this invention thru/or its operation gestalt, the high power laser accompanied by good radiation quality can be manufactured. Good radiation quality, for example, the radiation quality accompanied by polarization of the letter of a link, can be used for the industrial laser for cropping. A notation is used for below and the approach of this invention thru/or the operation gestalt of a laser cavity are explained to it in detail. The advantage of this invention becomes clear from the description text.

[0018]

[Embodiment of the Invention] The laser cavity 2 shown in drawing 1 has the high reflecting mirror 1 (called a mirror 100%), an active medium 3, and the radiation decollator 5. An active medium 3 is Nd:YAG laser Xtal, and is 28.8mm in the diameter of 4mm, and die length. It is prepared between the high reflecting mirror 1 and the decollator 5. The pumping of laser Xtal 3 is sideways turned through die length of 10mm of six laser diodes by wavelength  $\lambda_{pump}=809\text{nm}$ . The generated laser wavelength is  $\lambda_{laser}=1.064\text{micrometer}$ . The laser head which consists of arrays of a laser diode by which the pumping was carried out to laser Xtal 3 is indicated by the "heat optical property of the synthetic YAG rod by which the pumping was turned sideways which has the core by which Nd doping was carried out" of collaboration besides for example, A.Lucianetti, a quantum electronics IEEE journal, No. 36, and 220-227 pages (February, 2000).

[0019] The mirror 1 which carries out a high echo has the highest possible reflection factor, i.e., the reflection factor to 100% of tolerance limits, about the laser radiation  $\lambda_{laser}=1.064\text{micrometer}$  wavelength which should be generated. A decollator 5 consists of one polarizing mirror. In a laser cavity 2, it vibrates in the state of all the polarization directions

that can consider many radiation fields (it can express also as the mode if there is a certain amount of prerequisite) according to a transient. Only radiation field 9p which vibrates to parallel at 7s which vibrates vertically to a sign side, and it is shown in drawing 1. All the other radiation fields can carry out a spectrum by the vector in this direction. About all the radiation fields, the polarizing mirror 5 is polarization 9p parallel to a sign side, and it is constituted so that it may have a reflection factor 1 (tolerance is included). That is, the return echo of these radiation fields is carried out thoroughly. However, a part of energy of radiation field 9p which carried out parallel polarization penetrates a mirror 5 as radiation 11. The permeability of a mirror 5 is fitted to magnification thru/or the pumping output of laser Xtal 3 according to the following operation gestalten.

[0020] Spacing 1c of the mirror 1 of a high echo and conoscope 5 is 210mm. Spacing with 60mm and conoscope 5 of spacing of laser Xtal 3 and the high reflecting mirror 1 is 35mm.

[0021] The resonator 15 shown in drawing 2 is similar to the resonator 2 of drawing 1, and has the conoscope 20 as the high reflecting mirror 17, laser Xtal 19 as an active medium which carries out a heat birefringence, and a radiation decollator. In addition, a resonator 15 has  $\lambda/4$  plate 21. The optical axis of  $\lambda/4$  plate 21 is in a sign side here in the location of 45 degrees to the direction of the radiation field which vibrates to parallel. When it passes along the radiation field which polarizes polarization of the radiation field of a laser cavity 15 in the shape of a link once, and when returning after  $\lambda/4$  plate 21 carries out a whole echo with the high reflecting mirror 17, it is changed into the radiation field which is rotated 90 degrees to the advancing radiation field and which carries out linearity polarization. The radiation p which it polarizes to parallel and vibrates to a sign side is converted into the radiation s which vibrates vertically. Like drawing 1, the vertical polarization direction s (radiation which presents the radiation vector in which a spectrum is possible in the radiation field which vibrates at right angles to a sign side thru/or this direction) is displayed in 23s, and is rotated 90 degrees, and the parallel polarization direction p is expressed with 25p also here. Output radiation 27p which presents one parallel polarization p with the specified permeability 0.2 arises through conoscope 20.

[0022] Energy transfer between the radiation fields (mode) which vibrate in the different polarization direction in a laser cavity 15 is performed through laser Xtal 19 and  $\lambda/4$  plate 21 here, when it is carried out through  $\lambda/4$  plate 21 and laser Xtal 19 is carrying out the birefringence. The weak heat birefringence of laser Xtal, for example, the heat birefringence in the case of a weak pumping, is supported with  $\lambda/4$  plate 21 the component to which the polarization condition of a resonator is changed, and here.

[0023] The resonator 30 of drawing 3 is similar to the resonator 15 of drawing 2, it has the high reflecting mirror 31, laser Xtal 33 used as an active medium, and  $\lambda/4$  plate 35, and these operations resemble the operation of  $\lambda/4$  plate 21. The inclined optical element 37 which has a dielectric layer on the front face of up as a radiation decollator here, and another high reflecting mirror 39 are formed. An optical element 37 is a transparent plain parallel body about laser radiation. This inclines at the include angle  $\nu$  to the optical resonator shaft 41, one dielectricity-layer 44 is shown in the up front face 43 suitable for laser Xtal 33, and a layer penetrates one radiation field which polarized 45p with the permeability of 0.12 to parallel to a sign side, corresponding to desirable degree of separation, as shown in drawing. Radiation field 47s which polarizes vertically, it is reflected nearly thoroughly and a return echo is carried out at itself through the mirror 39 which carries out a high echo. However, since 12% of the radiation deflected by parallel was removed by the sign side by p-polarized light 46p as output radiation 46, it is reflected, the 88 remaining% carries out a return echo from a mirror 39, and an optical element 37 penetrates 12% by p radiation 49p similarly as the second output radiation 49. Both output radiation 46 and 49 is only suitably repeated [ one ] coherent in consideration of different progress time amount (twice of spacing of a mirror 39 and an optical element 37).

[0024] The whole resonator radiation field vibrates only one optical resonator also here (= the only equivalence type). That is, it becomes the mirror 31- $\lambda/4$  plate 35-laser Xtal 33-optical element 34-high reflecting mirror 39 which carries out a high echo, and returns again.

[0025] The resonator 53 of drawing 4 resembles drawing 2, and has the composition of having laser Xtal 52 which becomes an active medium,  $\lambda/4$  plate 54, the separation mirror 50, and the high reflecting mirror 57. Of course, as an additional element, it has the optical element 55 which acts nonlinear, and it can perform frequency redoubling. The radiation "is not doubled" although the radiation "by which frequency redoubling was carried out" is passed does not pass the separation mirror 50.

[0026] thus, in case heat induction is carried out and the active medium which carries out a birefringence is passed, only the radiation field with regular polarization distribution reflects about the radiation field where polarization is not canceled -- as -- polarization -- it becomes possible to constitute an alternative resonator mirror. The radiation field where another polarization was made is not reflected by this resonator mirror, or only a part is reflected. The radiation field where such another polarization was made does not vibrate any longer in a resonator. This kind for generating the

laser output radiation which polarized of laser cavity has only an active medium and two resonator mirrors. It becomes possible to also constitute the resonator mirror or separation mirror of a high echo on a polarization selection target. However, the resonator mirror of a high echo consists of fields of cost on a polarization selection target. That is, only a regular polarization condition is reflected, and it does not reflect or is made to reflect others all slightly. The separation mirror is not constituted by the polarization selection target any longer. It is symmetrical with a cylinder and, in the case of the solid-state-laser medium of the rod gestalt by which a pumping is carried out, such radiation polarizes by the radial or the tangent. If an activity solid-state medium is made another configuration and the location of the source of a pump is changed, another local polarization distribution will arise in laser radiation. A polarization selection mirror must be adjusted according to the configuration.

[0027] Next, a judgment is made about transparency of conosopes 5 and 20, and an optical element 37. Based on laser Xtal 3 and 19 thru/or the heat birefringence of 33, a mutual intervention is mutually made between two vertical photons (photon), the polarization directions s and p thru/or 7s, 9p, 23s and 25p, or 47s and 45p. That is, the 7s of the two polarization directions, 9p, 23s and 25p, or 47s and 45p are mutually combined from the polarization life TDepol. TDepol is one scale which shows the time amount in a certain polarization condition before one photon changes to another polarization condition.

[0028] A degree type is effective about quantity change of the ion for every capacity unit on basic level (it displays by "g" with the bottom) for every time basis so that it may be applied about the wavelength of 1.064 micrometers in the case of Nd:YAG Xtal on the assumption that 4 level system.

[Equation 1]

$$\frac{dn_g}{dt} = \frac{n_l}{\tau_l} - P_n(n_g) + \frac{n_u}{\tau_u} \cdot \beta_{ug}.$$

[0029] A degree type is effective about the temporal response of the quantity of the ion for every capacity unit in the low level (it displays by "I" with the bottom) of a primitive state.

[Equation 2]

$$\frac{dn_l}{dt} = \frac{n_u}{\tau_u} \cdot \beta_{ul} + (\Phi_s + \Phi_p) \cdot c \cdot \sigma \cdot (n_u - n_l) - \frac{n_l}{\tau_l}.$$

[0030] Nu is the quantity of the ion in the level by which up excitation was carried out for every capacity unit, and NI is the quantity in low level.

[Equation 3]

$$\begin{aligned} \frac{dn_u}{dt} &= P_w(n_g) - \frac{n_u}{\tau_u} - (\Phi_s + \Phi_p) \cdot c \cdot \sigma \cdot (n_u - n_l) \\ \frac{d\Phi_s}{dt} &= \Phi_s \cdot c \cdot \sigma \cdot (n_u - n_l) \cdot \frac{l_k}{l_c} \cdot \frac{\Phi_s}{\tau_s} + \frac{1}{T_{Depol}} \cdot (\Phi_p - \Phi_s) + \frac{n_u}{\tau_u} \cdot \beta_{ul} \cdot \frac{l_k}{l_c} \\ \frac{d\Phi_p}{dt} &= \Phi_p \cdot c \cdot \sigma \cdot (n_u - n_l) \cdot \frac{l_k}{l_c} \cdot \frac{\Phi_p}{\tau_p} + \frac{1}{T_{Depol}} \cdot (\Phi_s - \Phi_p) + R \cdot \frac{n_u}{\tau_u} \cdot \beta_{ul} \cdot \frac{l_k}{l_c} \end{aligned}$$

[0031] phis and phip are the quantity of the photon for every capacity unit in the direction of s-polarized light thru/or the direction of p-polarized light. The life of the upper laser level is Tu=230microsecond, and the life of low laser level is Tl=30ns. betaul and betaug are expressed as "branching" condition and have numeric values 0.8 and 0.2. R is a radiation parameter and shows the probability for the photon called for momentarily to remain in a resonator. R= 10 to 4 degree C is the speed of light. Ik is the die length "to which the pumping of laser Xtal was carried out", Ic is resonator die length, and sigma is the operation cross section for the excited emission, and is 2.8x10 to 19 cm2. The life of the photon in a resonator is searched for by the degree type about the two polarization directions.

[Equation 4]

$$\tau_{s,p} = \frac{2 \cdot l_c}{c \cdot [V - \ln(1 - T_{s,p])]}.$$

[0032] However, V is internal loss and Ts and Tp show the permeability of the conoscope about the direction of s-



polarized light thru/or the direction of p-polarized light. Since a part of radiation by p-polarized light is separated and s-polarized light is reflected thoroughly, it is  $T_s=0$ .

[0033] Function  $P_n(n_g)$  shows the quantity of the ion after the pumping radiation absorbed for every time basis and every capacity unit.

[Equation 5]

$$P_n(n_g) = \frac{P_p \cdot \eta_{trans}}{h \cdot \nu_p \cdot \pi \cdot r_p^2 \cdot l_k} \cdot \left[ 1 - e^{-\sigma_{abs} \cdot n_g \cdot l_k} \right]$$

[0034]  $P_p(s)$  are pumping capacity and an optical propagation multiplier concerning  $[\eta_{trans}]$  pumping radiation. \*\*\*\* is the frequency of pumping radiation. It is  $3.708 \times 10^{14} \text{ Hz}$ .  $\sigma_{abs}$  is an absorption cross section about pumping radiation, and is  $3 \times 10$  to  $18 \text{ mm}^2$ .  $r_p$  is the radius of laser Xtal and is  $2 \text{ mm}$ .

[0035] In order to judge the polarization life  $T_{Depol}$ , the birefringence in laser Xtal by which heat induction is carried out is taken into consideration. The general analytical model is indicated by 1398-1404 pages in collaboration "heat birefringence of laser rod accompanied by analytical-model [ of temperature distribution ], and cylinder symmetry heating" J.Opt.Soc.Am.B;17 volume besides M.Schmid, No. 8, and August, 2000. The joint property of a photon of changing polarization in one passage is as a degree type.

[Equation 6]

$$D_{Depol} = D_{biref} = \frac{1}{\pi \cdot r^2} \int_0^{r_{rod}} \int_0^{2\pi} b(r, \phi) f_{beam}(r') r' d\phi dr'$$

[0036]  $b(\gamma', \psi)$  shows a heat birefringence and can calculate it according to the above-mentioned reference.  $D_{biref}$  is the average of the birefringence to which the interior of laser radiation was guided. The numeric value of  $D_{biref}$  is from 0 to 0.5. If  $\lambda/4$  plate 21 is in a resonator 15, all photons will carry out 90-degree polarization revolution. Since depolarization is carried out thermally, a part of polarization revolution caused on  $\lambda/4$  plate 21 is offset.

[Equation 7]

$$D_{Depol} = 1 - D_{biref}$$

$D_{Depol}$  is from 0.5 to 1.

[0037] A polarization life is searched for by the degree type.

[Equation 8]

$$T_{Depol} = \frac{2 \cdot l_c}{c \cdot D_{Depol}}$$

In order to analyze balance equality numerically, the spatial distribution of pumping radiation and the spatial energy distribution of laser radiation are taken into consideration.

[0038] In the following count, approximate-value-assessment performed by the 4th degree of Rung-Kutta-Methode by MathCad is made an issue of. The die length  $l_c$  of a laser cavity is  $210 \text{ mm}$ . Laser Xtal is die length of  $28.8 \text{ mm}$ , and a radius  $r_c$  is  $2 \text{ mm}$ .  $10 \text{ mm}$  ( $l_k$ ) of laser Xtal is emitted from the pump light radiation  $P_p$ . It is a premise that laser Xtal is emitted uniformly. Internal loss  $V$  is 0.05 and optical propagation multiplier  $\eta_{trans}$  is 0.8.

[0039] First, the effect of laser output  $P_{out}$  on the permeability of Depolarization  $D_{Depol}$  and conoscope 20 is considered (based on a  $T_s=0$  definition). The pumping output  $P_p$  is  $196 \text{ W}$ .

[0040] Laser output  $P_{out}$  is indicated by  $W$  by drawing 5 as a function of the joint property about the permeability from which conoscope 20 differs. The permeability for p-polarized light is always 0. The continuous line is effective about permeability 0.2, and it relates [ a longer broken line is related with the permeability of 0.1, and / a dotted line ] with the permeability of 0.05 and is effective. 0.3 or more permeability could not be taken into consideration by the numerical approach which makes reference here. Upward arrow-head 59a to 59c shows a curving point, and the life of the photon in the p-polarized light  $T_p$  in this curving point is the same as the polarization life  $T_{Depol}$ . The dotted line 61 currently drawn vertically [ drawing 5 ] shows a curving point, and is  $T_{Depol}=T_s$  at a curving point. Although the permeability of s-polarized light is zero, naturally it still has polarization loss with a resonator also about such a polarization direction.

[0041] Laser output  $P_{out}$  is dependent on the polarization joint property  $T_{Depol}$  about the field of  $T_{Depol} > T_s$ .

However, there is also a saturation region about  $T_{Depol} < T_p$ . For an efficient activity, it must be  $T_{Depol} < T_p$ .

[0042] If  $T_{Depol}$  is smaller than  $T_p$ , a mutual intervention will be quickly made between the two polarization directions

so that it may be substituted for the photon which leaves a resonator with the photon of another polarization direction.

---

[Translation done.]

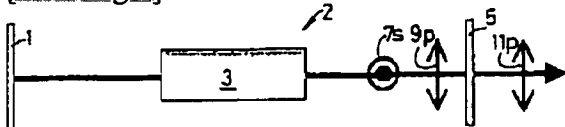
## \* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

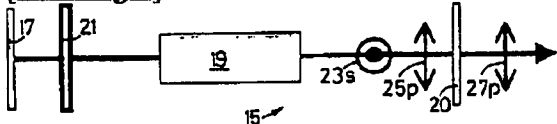
1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

## DRAWINGS

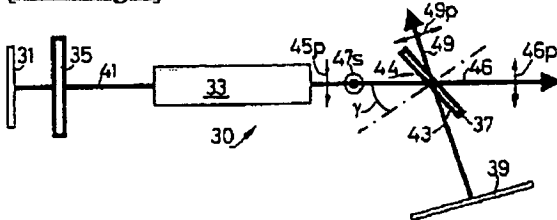
[Drawing 1]



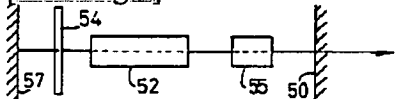
[Drawing 2]



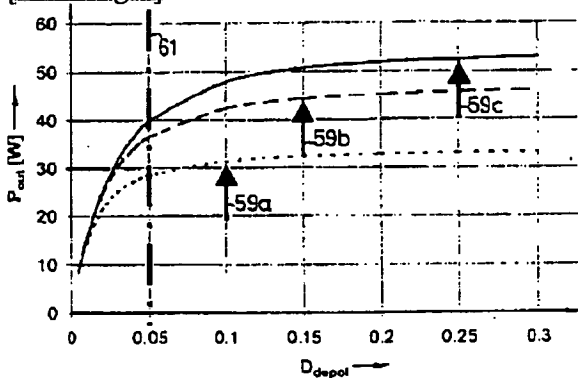
[Drawing 3]



[Drawing 4]



[Drawing 5]



[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (JP)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開 2002-134816

(P 2002-134816 A)

(43) 公開日 平成14年5月10日 (2002. 5. 10)

(51) Int. Cl. 7

識別記号

F I

テーマコード (参考)

H 0 1 S 3/05

H 0 1 S 3/05

5F072

審査請求 未請求 請求項の数 11

O L

(全 7 頁)

(21) 出願番号 特願2001-270443 (P2001-270443)

(22) 出願日 平成13年9月6日 (2001. 9. 6)

(31) 優先権主張番号 00810810. 2

(32) 優先日 平成12年9月8日 (2000. 9. 8)

(33) 優先権主張国 欧州特許庁 (E P)

(71) 出願人 501251079

ユニフェルシテット ベルン

スイス国, ツェーハー—3012 ベルン, ホ  
ッホシュールシュトラッセ 4

(72) 発明者 マルク シュミット

スイス国, ツェーハー—3004 ベルン, ラ  
イヒエンバッハシュトラッセ 75

(72) 発明者 トマス グラフ

スイス国, ツェーハー—3322 ウルターネ  
ン, ソロトゥルンシュトラッセ 54

(74) 代理人 100064447

弁理士 岡部 正夫 (外11名)

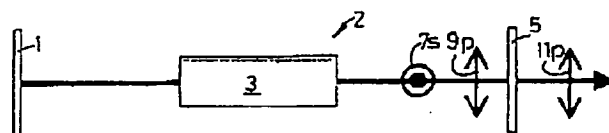
F ターム (参考) 5F072 AB02 AK01 JJ05 KK06 KK12  
KK30

(54) 【発明の名称】 偏光されるレーザ放射を生成するためのレーザ共振器

(57) 【要約】

【課題】 高い効率を有し、調整簡単で、かつ、すぐれた放射安定性をもつ、偏光放射を生成するための簡単なレーザ共振器を提供する。

【解決手段】 レーザ共振器の活性媒質 (19) は熱誘導される複屈折を呈し、レーザ共振器 (15) において振動する放射フィールド (23 s, 25 p) は偏光選択されず、放射フィールド (23 s, 25 p) からは望ましい偏光状態 (p) の放射フィールド (11 p, 27 p, 46 p, 49 p) だけが部分的に分離される。高反射する共振器鏡 (17)、放射出力装置 (20) および、熱誘導される複屈折を呈する活性媒質 (19) が使用される。放射分離装置 (20) は、レーザ放射から、共振器 (15) において振動可能な放射フィールド (23 s, 25 p) の規定された偏光 (27 p) だけが、規定の分離度 ( $T_p$ ) で共振器 (15) から部分的に分離されており、別の偏光がなされた放射フィールドのすべて、および部分的に分離可能な放射フィールドで残った部分が許容限度まで完全に反射されて共振器 (15) に残るように構成されている。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 活性媒質（3；19；33；52）が熱誘導される複屈折を呈するレーザ共振器（2，15，30；53）によって偏光されるレーザ出力放射（11p；27p；46p，49p）を生成するための方法であって、レーザ共振器（2，15，30；53）において振動する放射フィールド（7s，9p；23s，25p；47s，45p）が 2 つの共振器鏡のうちの少なくとも 1 つを通るだけで偏光選択され、放射フィールド（7s，9p；23p，25p；47s，45p）から、望ましい偏光状態（p）を有する放射フィールド（11p；27p；46p；49p）だけが部分的に分離されることを特徴とする方法。

【請求項 2】 共振器（2，15，30；53）において振動する放射フィールド（7s，9p；23s，25p；47s，45p）の間でエネルギー移動がなされることを特徴とする請求項 1 記載の方法。

【請求項 3】 エネルギー移動が規定の偏光方向での位相遅延で行われることを特徴とする請求項 2 記載の方法。

【請求項 4】 共振器内で振動可能な放射フィールドのうちで、活性媒質の熱誘導される複屈折によって偏光解消されない放射フィールドだけが、ある分離度まで戻し結合されることを特徴とする請求項 1 記載の方法。

【請求項 5】 請求項 1-請求項 3 記載の方法において、高反射の共振器鏡（1；17；31；57）、放射分離装置（5；20；37；50，55）および、熱複屈折を呈する活性媒質（3；19；33；52）によって偏光されるレーザ出力放射（11p；27p；46p，49p）を生成するためのレーザ共振器（2，15，30；53）であって、放射分離装置（5；20；37；50，55）は、共振器（2，15，30；53）において振動可能な放射フィールド（7s，9p；23s，25p；47s，45p）のうちで規定の偏光状態ないし規定の偏光分布（11p；27p；46p，49p）だけが、規定の分離度（ $T_p$ ）で共振器（2，15，30；53）から部分的に分離可能であり、別の偏光がなされた放射フィールドと、部分的に分離可能な放射フィールドのうちの残り成分は、許容限度まで共振器（2，15，30；53）において完全に反射されて残るように構成されていることを特徴とするレーザ共振器（2，15，30；53）。

【請求項 6】 共振器（2，15，30；53）には少なくとも 1 つの光学エネルギー移動要素（3；21，19；33，35；52，54，55）があり、これは共振器（2，15，30；53）における、さまざまに偏光される放射フィールド（7s，9p；23s，25p；47s，45p）の間での無視できないエネルギー移動に作用することを特徴とする請求項 5 記載のレーザ共振器。

【請求項 7】 放射分離装置（5；20；37；50，55）が分離鏡（5；20；37；50）を呈し、この鏡は共振器（2，15，30；53）の放射フィールドの規定された偏光分布（p）だけを規定の透過率

（ $T_p$ ）で透過し、好適には、同じ 2 つの共振器鏡相互間ですべての放射フィールド（7s，9p；23s，25p；47s，45p）が振動することを特徴とする請求項 5 または請求項 6 記載のレーザ共振器（2，15，30；53）。

10 【請求項 8】 エネルギー移動要素（3，19；33；52）が複屈折を呈し、特に、共振器（2，15，30；53）において振動する放射フィールドに関して熱誘導される複屈折を呈することを特徴とする請求項 6 記載のレーザ共振器（2，15，30；53）。

【請求項 9】 エネルギー移動要素が、共振器において振動可能な放射フィールドの偏光状態に関して位相遅延作用を呈し、好適に、 $\lambda/4$  プレート（21；35；54）として構成されていること、ないしその光学作用を示すこと、または特にファラデー・ローテータとして構成されていること、ないしその光学作用を示すことを特徴とする請求項 6 記載のレーザ共振器（15，30；53）。

【請求項 10】 放射分離装置が、好適には、共振器（53）において振動可能な放射フィールドの周波数増加を行う非線形の光学要素（55）と、周波数増加された放射だけを規定の透過率で完全に透過する分離鏡（50）とを有することを特徴とする請求項 9 記載のレーザ共振器（53）。

30 【請求項 11】 請求項 1 または請求項 4 記載の方法に従って、高反射する共振器鏡（1）、分離共振器鏡（5）および熱誘導される複屈折を呈する活性媒質（3）により、偏光レーザ出力放射を生成するためのレーザ共振器（2）であって、両方の共振器鏡（1）のうちの少なくとも 1 つが、ある偏光分布のある放射フィールドだけを反射し、この放射フィールドは活性媒質（3）を通過する際に偏光解消は行わず、その他の偏光状態の放射フィールドをすべて反射しないか、または振動するには不十分なわずかな部分のみを反射し、それによって共振器（2）では、別の偏光状態のその他の放射フィールドは振動できないことを特徴とするレーザ共振器。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、請求項 1 記載の偏光されるレーザ放射を生成するための方法および請求項 5 ないし請求項 11 の前文記載の偏光されるレーザ放射を生成するためのレーザ共振器に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 共振器鏡は、鏡の間で放射フィールドが振動する鏡を意味する。それぞれのオッシレータは、基

本的に高反射鏡と、若干反射率の低い分離鏡を有し、この鏡を経て、放射フィールドの一部がさまざまな目的のために分離される。放射の方向転換またはその他の目的のための共振器内部の鏡は、本明細書では共振器鏡とはみなさない。

【0003】偏光状態ないし偏光分布とは、記載されている本発明の方法ないし本発明のレーザ共振器においては、線形で、リンク状の偏光を意味する。これには、放射状に進むか、または調節される偏光状態、および、特にシリンダ対称でポンピングされ、熱で複屈折するレーザロッドの場合に生じることがあるような、正接で進むか、または調節される偏光状態も含まれる。その他に、放射断面を経て、任意に局部的に変化する偏光方向も含まれる。

#### 【0004】

【発明が解決しようとする課題】高い効率を有し調整が簡単で、かつ、すぐれた放射安定性をもつ偏光放射を生成するための簡単なレーザ共振器を提供することである。

#### 【0005】

【課題を解決するための手段】本発明の課題は、レーザ共振器において振動する放射フィールドから、規定された偏光分布を有する放射フィールド（放射）だけを部分的に分離することによって解決される。残りの放射は、部分的に分離され、共振器に残っている成分をも含めて、共振器に残って振動している。このために、高反射する共振器鏡と放射分離装置および活性媒質を有するレーザ共振器が使用される。放射分離装置は、1つの規定された偏光だけ、特に、共振器の中で振動し、任意の偏光を呈す放射フィールドからの唯一の偏光を、規定の分離度で、共振器から分離できるように構成されている。別の偏光のなされた放射フィールド、および部分的に分離され残っている放射フィールドは、完全に許容限度まで反射しつつ共振器に残っている。

【0006】好適に、2つの共振器鏡の間でレーザ共振器の全体の放射フィールドが振動する。レーザ共振器の放射フィールド間で、好適にエネルギー移動が行われる。こうしたエネルギー移動は、位相遅延によって規定の偏光方向で行うことができる。エネルギー移動要素になりうるのは複屈折する要素、好適には、熱複屈折のレーザ水晶、 $\lambda/4$ プレートまたはファラデー・ローテータである。別の挿入物については以下で言及する。

【0007】放射分離のために共振器における非線形の光学要素も使用できる。その要素で周波数を増加することができる。分離鏡は、好適には、周波数が増加した放射だけを透過する。

【0008】これまで知られていた、好適に高出力レーザで使用されているような熱誘導される複屈折の固体レーザ媒質を有するレーザ共振器では、そうした熱誘導される複屈折を補償するために大きな努力が払われた。熱

誘導の複屈折する活性媒質を有する既知のレーザ共振器に対して、本発明は別の方法を提案する。本発明では熱誘導の複屈折を補償する必要はない。反対に複屈折が利用される。いくつかの実施形態で、熱誘導の複屈折の活性固体媒質などが、共振器のさまざまに偏光された放射フィールドの間のエネルギー移動のための要素として利用される。ある実施形態では、共振器の全体の放射フィールドが戻り反射されること、および、望ましい偏光状態ないし望ましい偏光分布を有する放射フィールドだけが規定の透過率で分離されることに留意されたい。

【0009】活性媒質の熱誘導の複屈折が、共振器の光学要素によって補償される光学共振器は、例えば、N. Hodgson, H. Weber 著の「光学共振器」298ページ以降（スプリング出版、1997年）、および DE-A 44 15 511 に記述されている。

【0010】本発明では、規定された複数の偏光方向をも分離できる。好適には、1つだけに限定する。

【0011】本発明の放射分離装置は、好適には、1つの分離鏡を有しており、この鏡は規定された偏光状態ないし偏光分布、および規定された波長を有するレーザ放射だけを規定された透過率で透過する。こうした鏡は、例えば、Rong-Chung Tyan, Pang-Chen Sun, Axel Scherer および Yeshayahu Fainman 共著の「形態複屈折の多層格子の異方性スペクトル屈折特性に基づくビームスプリッタの偏光」、光学レターズ、21巻、10号、1996年5月15日、761～763ページ、および N. Bel'tyogov 他共著「SPIE」1782号、1992年、206～212ページに記載されている。その他にこうした鏡は PCT/EP00/07540 にも記載されている。

【0012】放射分離装置として非線形の光学要素も使用でき、これは、好適に、共振器において振動可能な放射フィールドの周波数増加を行う。分離鏡としては、周波数増加した放射フィールドの1つだけを規定の透過率で完全に透過する鏡を使用する。

【0013】レーザ共振器の放射フィールド間のエネルギー移動のためには、先に述べたように、複屈折の光学要素、特に熱誘導複屈折の光学要素を使用する。つまりエネルギー移動のために固体レーザでは、例えば、熱誘導複屈折のレーザ水晶が活性媒質になりうる。

【0014】エネルギー移動要素は、共振器における振動可能な放射フィールドに関して位相遅延（位相回転）を行うことができ、好適には、 $\lambda/4$ プレートとして構成され、その光学作用を示すことができる。ファラデー・ローテータとして構成することもできる。

【0015】以下に説明する理論が示すように、本発明のレーザ共振器では、共振器放射フィールドの共振器回転につき30%以上の偏光解消率が得られる。一般に熱誘導の複屈折は、高出力レーザ水晶では強い結合を作り

出す。偏光解消が少ないポンピング出力の場合は、「充分な」偏光解消は $\lambda/4$ プレート、ファラデー・ローターなどの追加要素によって得られる。

【0016】但し、共振器における振動可能な放射フィールドからも、活性媒質の熱誘導の複屈折によって偏光解消されないような放射フィールドだけを、ある分離度になるまで戻し結合できる。この場合、2つの共振器鏡のうちの少なくとも1つが、ある偏光分布を有する放射フィールドだけを反射し、それらのフィールドは活性媒質を通過する際に偏光解消されず、別の偏光状態の放射フィールドは反射しないか、または振動するには十分なわずかな割合で反射するために、共振器では別の偏光状態を有するその他の放射フィールドが振動することは不可能である。こうした鏡被覆によって、高反射する鏡または分離鏡または両方の鏡をも（但し、これに利点はない）取りつけることができる。

【0017】本発明のレーザ共振器ないしその実施形態の変更によって、良好な放射品質を伴う高出力レーザを製造できる。良好な放射品質、例えば、リンク状の偏光を伴う放射品質を、例えば、材料切断のための産業用レーザに利用できる。以下に、本発明の方法ないしレーザ共振器の実施形態を記号を用いて詳しく説明する。本発明の利点は明細書本文から明らかになる。

#### 【0018】

【発明の実施の形態】図1に示すレーザ共振器2は、高反射鏡1（100%鏡と呼ばれることもある）、活性媒質3および放射分離装置5を有する。活性媒質3はNd:YAGレーザ水晶であり、直径4mm、長さ28.8mmである。高反射鏡1と分離装置5の間に設けられている。レーザ水晶3は、波長 $\lambda_p = 809\text{ nm}$ で6個のレーザダイオードの長さ10mmを経て横にポンピングされる。生成されたレーザ波長は $\lambda_l = 1.064\text{ }\mu\text{m}$ である。レーザ水晶3とポンピングされたレーザダイオードの配列で構成されるレーザヘッドは、例えば、A. Lucianetti他の共著の「Ndドーピングされたコアを有する横にポンピングされた合成YAGロッドの熱光学特性」、量子エレクトロニクスIEEEジャーナル、36号、220～227ページ（2000年2月）に記載されている。

【0019】高反射する鏡1は、生成すべきレーザ放射 $\lambda_l = 1.064\text{ }\mu\text{m}$ の波長についてはできるだけ高い反射率、つまり許容限度100%までの反射率を有する。分離装置5は1つの偏光する鏡で構成される。レーザ共振器2では、過渡状態で多くの放射フィールド（ある程度 の前提条件があればモードとしても表現できる）が考えられるすべての偏光方向ないし状態で振動する。図1には、符号面に対して垂直に振動する7sとそれに平行に振動する放射フィールド9pだけが示されている。その他のすべての放射フィールドはこの方向でベクトルで分光できる。偏光する鏡5は、すべての放射フィ

ールドに関して、符号面に平行な偏光9pで、反射率1（許容限界を含む）を有するように構成される。つまりこれらの放射フィールドは完全に戻り反射される。しかし平行偏光した放射フィールド9pのエネルギーの一部は、鏡5を放射11として透過する。鏡5の透過率は以下の実施形態に応じて、レーザ水晶3の増幅、ないしポンピング出力に適合させる。

【0020】高反射の鏡1と偏光鏡5の間隔1cは210mmである。レーザ水晶3と高反射鏡1の間隔は60mm、偏光鏡5との間隔は3.5mmである。

【0021】図2に示した共振器15は図1の共振器2に類似し、高反射鏡17、活性媒質としての熱複屈折するレーザ水晶19、および放射分離装置としての偏光鏡20を有する。その他に共振器15は $\lambda/4$ プレート21を有する。 $\lambda/4$ プレート21の光学軸はここでは符号面に平行に振動する放射フィールドの方向に対し45°の位置にある。 $\lambda/4$ プレート21は、レーザ共振器15の放射フィールドの偏光を、リンク状に偏光する放射フィールドを一回通るときに、および高反射鏡17で全体反射した後に戻るときに、進行する放射フィールドに対し90°回転している線形偏光する放射フィールドに変える。符号面に平行に偏光されて振動する放射pは、垂直に振動する放射sに転換される。図1と同様にここでも垂直な偏光方向s（符号面に垂直に振動する放射フィールドないしこの方向に分光可能な放射ベクトルを呈する放射）は、23sで表示され、90°回転し、平行な偏光方向pは25pで表わされている。偏光鏡20を経て、例えば、規定された透過率0.2で1つの平行な偏光pだけを呈する出力放射27pが生じる。

【0022】レーザ共振器15での異なる偏光方向で振動する放射フィールド（モード）間のエネルギー移動は、ここでは $\lambda/4$ プレート21を経て行われ、レーザ水晶19が複屈折している場合は、レーザ水晶19と $\lambda/4$ プレート21を経て行われる。レーザ水晶の弱い熱複屈折、例えば、弱いポンピングの場合の熱複屈折は、共振器の偏光状態を変化させる構成要素、ここでは $\lambda/4$ プレート21によってサポートされる。

【0023】図3の共振器30は図2の共振器15に類似し、高反射鏡31、活性媒質となるレーザ水晶33、および $\lambda/4$ プレート35を有しており、これらの作用は $\lambda/4$ プレート21の作用に似ている。放射分離装置としてここでは上部表面への誘電層のある傾斜した光学要素37と、もう一つの高反射鏡39が設けてある。光学要素37は、レーザ放射に関しては透明なブレンパレルな物体である。これは光学的な共振器軸41に対して角度 $\psi$ で傾斜しており、レーザ水晶33に向いている上部表面43には1つの誘電的なレイヤ44があり、レイヤは図に示すように、符号面に対して平行に、1つの偏光された放射フィールド45pを望ましい分離度に応じて、例えば、0.12の透過率で透過する。垂直に

偏光される放射フィールド 47 s はほぼ完全に反射され、高反射する鏡 39 を経てそれ自体に戻り反射する。しかし符号面に平行に偏向される放射の 12% だけが出力放射 46 として、p 偏光 46 p で取り除かれたので、残りの 88% は反射され、鏡 39 から戻り反射し、光学要素 37 は 12% を第二の出力放射 49 として、同様に p 放射 49 p で透過する。両方の出力放射 46 と 49 は、好適に、異なる進行時間（鏡 39 と光学要素 37 の間隔の 2 倍）を考慮して、ただ 1 つの放射にコヒーレントに重ねられる。

【0024】ここでも全体の共振器放射フィールドが、ただ 1 つの光学共振器を振動させる（＝唯一の等価式）。つまり高反射する鏡 31- $\lambda/4$  プレート 35-レーザ水晶 33-光学要素 34-高反射鏡 39 となり、再び戻る。

【0025】図 4 の共振器 53 は、図 2 に似ており、活性媒質になるレーザ水晶 52、 $\lambda/4$  プレート 54、分離鏡 50 および高反射鏡 57 を有する構成になっている。もちろん追加要素として、非線形に作用する光学要素 55 を有し、それによって周波数倍増を行うことができる。分離鏡 50 は「周波数倍増された」放射を通過させるが「倍増されない」放射は通過させない。

【0026】このようにして、熱誘導され複屈折する活性媒質を通過する際に偏光が解消されない放射フィールドに関して、規定の偏光分布のある放射フィールドだけが反射するように、偏光選択的な共振器鏡を構成することが可能になる。別の偏光がなされた放射フィールドは、この共振器鏡によって反射されないか、一部だけが反射される。こうした別の偏光がなされた放射フィールドは共振器ではもはや振動しない。偏光されたレーザ出力放射を生成するためのこの種のレーザ共振器は、活性媒質と 2 つの共振器鏡だけを有する。高反射の共振器鏡、または分離鏡をも偏光選択的に構成することが可能になる。しかし、コストの面から高反射の共振器鏡を偏光選択的に構成する。つまり規定の偏光状態だけを反射し、その他はすべて反射しないか、わずかに反射するようにする。分離鏡はもはや偏光選択的には構成されてい

$$\frac{dn_u}{dt} = P_w(n_g) - \frac{n_u}{\tau_u} - (\Phi_s + \Phi_p) \cdot c \cdot \sigma \cdot (n_u - n_l)$$

$$\frac{d\Phi_s}{dt} = \Phi_s \cdot c \cdot \sigma \cdot (n_u - n_l) \cdot \frac{l_k}{l_c} \cdot \frac{\Phi_s}{\tau_s} + \frac{1}{\tau_{\text{Depol}}} \cdot (\Phi_p - \Phi_s) + \frac{n_u}{\tau_u} \cdot \beta_{ul} \cdot \frac{l_k}{l_c}$$

$$\frac{d\Phi_p}{dt} = \Phi_p \cdot c \cdot \sigma \cdot (n_u - n_l) \cdot \frac{l_k}{l_c} \cdot \frac{\Phi_p}{\tau_p} + \frac{1}{\tau_{\text{Depol}}} \cdot (\Phi_s - \Phi_p) + R \cdot \frac{n_u}{\tau_u} \cdot \beta_{ul} \cdot \frac{l_k}{l_c}$$

【0031】 $\phi_s$  と  $\phi_p$  は s 偏光方向ないし p 偏光方向での容量単位ごとの光子の数量である。上のレーザレベルの寿命は  $T_u = 230 \mu s$  であり、低いレーザレベルの寿命は  $T_l = 30 ns$  である。 $\beta_{ul}$  と  $\beta_{us}$  は「分枝」状態と表現され、数値 0.8 と 0.2 を有する。 $R = 50$

ない。シリンダ対称でポンピングされるロッド形態の固体レーザ媒質の場合、こうした放射は放射状に、または正接で偏光される。活性固体媒質を別の構成にしてポンプ源の位置を変えるならば、レーザ放射に別の局所的な偏光分布が生じる。偏光選択鏡はその形状に合わせて調整されねばならない。

【0027】次に、偏光鏡 5 と 20 の透過、および光学要素 37 に関して判定がなされる。レーザ水晶 3、19 ないし 33 の熱複屈折に基づいて、互いに垂直な 2 つの偏光方向 s と p ないし 7 s と 9 p、23 s と 25 p ないし 47 s と 45 p の光子（フォトン）間で相互干渉がなされる。つまり 2 つの偏光方向 7 s と 9 p、23 s と 25 p ないし 47 s と 45 p は、偏光寿命  $T_{Dop}$  で相互に結合されている。 $T_{Dop}$  は、1 つの光子が別の偏光状態に変わる前の、ある偏光状態にある時間を示す 1 つの尺度である。

【0028】4 レベルシステムを前提にして、例えば、Nd:YAG 水晶の場合、波長  $1.064 \mu m$  に関して適用されるように、時間単位ごとに基本レベル（下つきの“g”で表示）で容量単位ごとのイオンの数量変化に関して次式が有効である。

【数 1】

$$\frac{dn_g}{dt} = -\frac{n_l}{\tau_l} - P_n(n_g) + \frac{n_u}{\tau_u} \cdot \beta_{ug}$$

【0029】基本状態の低いレベル（下つきの“l”で表示）での、容量単位ごとのイオンの数量の時間的変化に関して次式が有効である。

【数 2】

$$\frac{dn_l}{dt} = -\frac{n_u}{\tau_u} \cdot \beta_{ul} + (\Phi_s + \Phi_p) \cdot c \cdot \sigma \cdot (n_u - n_l) - \frac{n_l}{\tau_l}$$

【0030】 $N_u$  は、容量単位ごとの、上部励起されたレベルでのイオンの数量であり、 $N_l$  は低いレベルでの数量である。

【数 3】

は放射パラメータであり、瞬間的に求められる光子が共振器に残る確率を示す。 $R = 10^{-4} c$  は光速である。 $l_k$  はレーザ水晶の「ポンピングされた」長さであり、 $l_c$  は共振器長さであり、 $\sigma$  は励起されたエミSSION のための作用断面積であり、 $2.8 \times 10^{-19} c$



$m^2$ である。共振器での光子の寿命は2つの偏光方向に関して次式で求められる。

【数4】

$$T_{s,p} = \frac{2 \cdot l_c}{c \cdot [V - \ln(1 - T_{s,p})]}$$

【0032】但し、 $V$ は内部損失であり、 $T_s$ および $T$

$$P_n(n_g) = \frac{P_p \cdot \eta_{trans}}{h \cdot \nu_p \cdot \pi \cdot r_p^2 \cdot l_k}$$

【0034】 $P_p$ はポンピング能力、 $\eta_{trans}$ はポンピング放射に関する光学伝播係数である。 $V_p$ はポンピング放射の周波数である。 $3.708 \times 10^{14} \text{ Hz}$ である。 $\sigma_{abs}$ はポンピング放射に関する吸収断面積であり、 $3 \times 10^{-18} \text{ mm}^2$ である。 $r_p$ はレーザ水晶の半径であり、2mmである。

【0035】偏光寿命 $T_{D,pol}$ を判定するために、レーザ水晶における熱誘導される複屈折を考慮する。一般的な分析モデルはM. Schmidt他の共著「温度分布の分析モデルとシリンダ対称加熱を伴うレーザロッドの熱複屈折」、J. Opt. Soc. Am. B; 17 20 巻、8号、2000年8月、1398~1404ページに記載されている。一回の通過において偏光を変える光子の結合特性は次式の通りである。

【数6】

$$D_{Depol} = D_{Dref} = \frac{1}{\pi \cdot r^2} \int_0^{r_{rod}} \int_0^{2\pi} [b(r, \phi) f_{beam}(r') r' d\phi dr']$$

【0036】 $b(r', \phi)$ は熱複屈折を示し、上記文献に従って算定できる。 $D_{b,ref}$ はレーザ放射内部の誘導された複屈折の平均値である。 $D_{b,ref}$ の数値は0から0.5の間にある。 $\lambda/4$ プレート21が共振器15にあるならばすべての光子は90°偏光回転する。熱的に偏光解消されるため、 $\lambda/4$ プレート21で引き起こされた偏光回転の一部が相殺される。

【数7】

$$D_{Depol} = 1 - D_{Dref}$$

$D_{D,pol}$ は0.5から1の間にある。

【0037】偏光寿命は次式で求められる。

【数8】

$$T_{Depol} = \frac{2 \cdot l_c}{c \cdot D_{Depol}}$$

バランス等式を数的に分析するために、ポンピング放射の空間分布とレーザ放射の空間的なエネルギー分布を考慮する。

【0038】以下の計算では、MathCadによるRunge-Kutta-Methodの第4次数で行われる近似値的な評価を問題にする。レーザ共振器の長さ $l_c$ は210mmである。レーザ水晶は長さ28.8mm

$p$ はs偏光方向ないしp偏光方向に関する偏光鏡の透過率を示す。p偏光での放射の一部だけが分離され、s偏光は完全に反射されるので、 $T_s = 0$ である。

【0033】関数 $P_n(n_g)$ は、時間単位ごとおよび容量単位ごとに吸収されたポンピング放射のあとのイオンの数量を示す。

【数5】

$$\left[ 1 - e^{-\sigma_{abs} \cdot n_g \cdot l_k} \right]$$

m、半径 $r_c$ は2mm。レーザ水晶の10mm( $l_k$ )はポンプライト放射 $P_p$ から放射される。レーザ水晶が均等に放射されることが前提である。内部損失 $V$ は0.05であり、光伝播係数 $\eta_{trans}$ は0.8である。

【0039】まず、偏光解消 $D_{Depol}$ と偏光鏡20の透過率のレーザ出力 $P_{out}$ への影響を考察する( $T_s = 0$  定義に準拠)。ポンピング出力 $P_p$ は196W。

【0040】図5には、偏光鏡20の異なる透過率に関する結合特性の関数として、レーザ出力 $P_{out}$ がWで記載されている。p偏光のための透過率は常に0である。実線は透過率0.2に関して有効であり、長め破線は0.1の透過率に、点線は0.05の透過率に関して有効である。ここで言及する数的方法では、0.3以上の透過率は考慮できないだろう。上向きの矢印59aから59cはカーブ点を示し、このカーブ点でのp偏光 $T_p$ での光子の寿命は偏光寿命 $T_{D,pol}$ と同じである。図5の垂直に引かれている点線61はカーブ点を示し、カーブ点では $T_{D,pol} = T_s$ である。s偏光の透過率はゼロであるがそれでも、こうした偏光方向についても当然、共振器での偏光損失がある。

【0041】レーザ出力 $P_{out}$ は、 $T_{D,pol} > T_s$ の領域については偏光結合特性 $T_{D,pol}$ に依存する。しかし $T_{D,pol} < T_p$ については飽和領域もある。効率的な作業のためには $T_{D,pol} < T_p$ でなければならない。

【0042】 $T_{D,pol}$ が $T_p$ より小さいならば、共振器を出ていく光子が別の偏光方向の光子によって代替されるように、すばやく2つの偏光方向の間で相互干渉がなされる。

【図面の簡単な説明】

【図1】熱複屈折するレーザ水晶を有する本発明のレーザ共振器の略図。

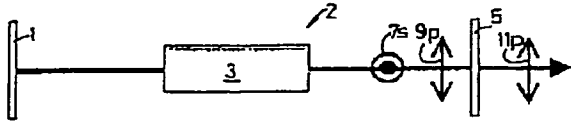
【図2】 $\lambda/4$ プレート付きの、図1に示したレーザ共振器の変形例。

【図3】傾斜した分離鏡のある本発明のレーザ共振器の別の変形例。

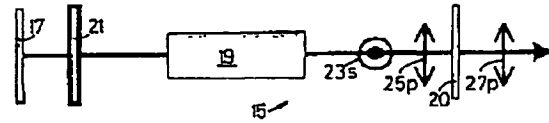
【図4】非線形の光学要素のある別の変形例。

【図5】図2に記載の本発明のレーザ共振器からのレーザ出力 $P_{out}$ 、偏光寿命 $T_{D,pol}$ 。

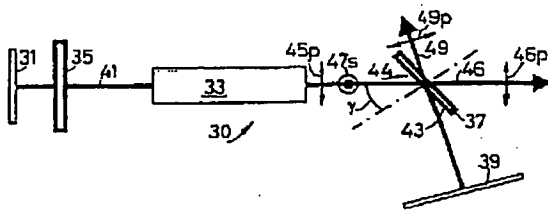
【図 1】



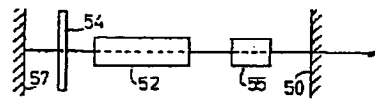
【図 2】



【図 3】



【図 4】



【図 5】

